**Leichtgewichtige prototypische Mechanismensimulation im Web-Kontext**

Lightweight prototypal mechanism simulation on the web

Pascal, Schnabel\*; Stefan,Goessner\*\*

**\*** TU Chemnitz, Professur Montage- und Handhabungstechnik pascal.schnabel@mb.tu-chemnitz.de

\*\* FH Dortmund, Professur für Dynamik, Mechanismentechnik und Webtechnologien  
stefan.goessner@fh-dortmund.de

Kurzfassung

Die Möglichkeiten zur Simulation und Analyse ebener Mechanismen mithilfe von Webanwendungen sind bislang sehr stark begrenzt.

Aus diesem Anlass wird ein neuer Ansatz zur Modellierung und Simulation planarer Mechanismen mithilfe von *Nodes* und *Constraints* vorgestellt. Im Anschluss folgt die Vorstellung der eigens entwickelten Javascript-Simulationsbibliotheken sowie eine Erklärung zu deren Anwendung an einer umfangreichen Anzahl von Beispielen. Abschließend wird durch einige komplexere Beispiele die Mächtigkeit des Verfahrens sowie der entwickelten Bibliothek demonstriert.

Abstract

# Impulsbasierter Ansatz

# Implementierung

Zur Implementierung des impulsbasierten Simulations- und Analysesystems werden ausschließlich die Standard-Webtechnologien HTML, CSS und Javascript sowie die erstellten Javascript-Bibliotheken g2.js und cstr.js verwendet. Am Beispiel einer Kurbelschwinge soll nun deren Verwendung exemplarisch erklärt werden.

Zunächst wird ein neues HTML-Dokument mit einem entsprechendem Dokumentkopf erstellt. Im Kopf des Dokuments können Informationen über den Autor, der Darstellung der Seite, der Titel der Seite und weitere Angaben definiert werden.

Abb. 1: *HTML*-Dokumentkopf

<!doctype html>

<html lang=**"en"**>

<head>

<meta charset=**"utf-8"**>

<meta name=**"viewport"** content=**"width=device-width, initial-scale=1"**>

<title>**Titel des Dokuments**</title>

</head>

Im Anschluss folgt die Definition der Zeichenfläche mithilfe des HTML-eigenen canvas‑Elements und zusätzliche Gestaltung der HTML‑Seite durch weitere Elemente. Danach folgt die eigentliche Programmlogik in einem neuen Programmblock (script‑Element). In diesem muss zunächst anhand der id des canvas auf die Zeichenfläche zugegriffen werden. Als Nächstes wird ein neues Interaktionsobjekt aus der g2‑Bibliothek erstellt, dass später die grafische Animation und Interaktion erlaubt. Danach wird ein Selektionsobjekt erstellt, das das interaktive Ziehen und Bewegen („drag“) der Nodes ermöglicht.

Anschließend folgt die Definition der Nodes, die später die Rolle der Drehgelenke bzw. der Koppelpunkte des Koppelgetriebes. Für jeden Node kann durch die x- und y-Attribute die Ausgangsposition, die Masse mit dem Attribut m und eine Beschriftung der Nodes mit dem label-Attribut angegeben werden. Des Weiteren ist es möglich gestellfeste Nodes durch das base‑Attribut zu kennzeichnen. In diesem Fall erhalten die Nodes eine unendliche Masse.

Danach folgt die Definition der Constraints zwischen den einzeln Nodes. Hierfür wird zunächst mit der Funktion cstr() ein neues Constraint‑Objekt erstellt und mithilfe der Funktionen n2() eine Bindung zwischen zwischen zwei Nodes definiert. Jedem Constraint wird durch die Attribute n1 und n2 ein Start- und Endnode zugewiesen und durch die Attribute len (Länge) und/oder ang (Winkel) die Art der Bindung zwischen den einzelnen Nodes definiert. Durch zusätzliche Vergabe des *id*-Attributs ist es zu einem späteren Zeitpunkt möglich erneut auf den *Constraint* zuzugreifen. Ist es erforderlich einen weiteren Node K mit einem festen Abstand zu den Nodes A und B zu definieren, kann entweder mithilfe der Funktion n3() ein Constraint zwischen drei Nodes und ein einzelner n2-Constraint oder zwei einzelne n2-Constraints erstellt werden. Aus Performancegründen sind allerdings zwei einzelne n2‑Constraints immer einem n2- und einem n3-Constraint vorzuziehen.

Abb. 2: Definition der Nodes und Constraints

<body>

    <canvas id="c" width="900" height="800"></canvas><!--Zeichenfläche-->

    <script src="./g2.js"></script>    <!--Verweis auf Grafikbibliothek-->

    <script src="./cstr.js"></script>    <!--Verweis auf Constraintbibliothek-->

    <script>

        //Zugriff auf canvas-Element

        const ctx = document.getElementById('c').getContext('2d');

        //Interaktionsobjekt erstellen

        const interactor = canvasInteractor.create(ctx, { x: 140, y: 140, cartesian: true });

        // Selektionsobjekt

        const selector = g2.selectorHdl(interactor.evt);

        //Definition der Nodes

        const A0 = { x: 0, y: 0, base: true, label: 'A0' },

            A = { x: 0, y: 50, m: 2, label: 'A' },

            B = { x: 180, y: 110, label: 'B' },

            B0 = { x: 200, y: 10, base: true, label: 'B0' },

            K = { x: 90, y: 120, label: "K" };

        //Definition der Constraints

        const c = cstr().n2({ id: 'A0A', n1: A0, n2: A, len: 'const' })

            .n2({ n1: A, n2: B, len: 'const' })

            .n2({ n1: B0, n2: B, len: 'const' })

            .n2({ n1: A, n2: K, len: 'const' })

            .n2({ n1: B, n2: K, len: 'const' })

Im Anschluss folgt das Zeichnen des Getriebes auf der Zeichenfläche. Hierfür werden die Funktionen der g2-Bibliothek, einer 2D-Grafik Bibliothek, basierend auf dem Command-Pattern, eingesetzt. Zuerst wird durch Aufruf der Funktion g2() ein neues g2-Objekt erstellt, die Zeichenfläche durch die Funktion clr() "gereinigt" und mithilfe der Funktion view() eine Koordinatentransformation der Zeichenfläche definiert. Im Anschluss folgt mit den Funktionen lin(), ply() und nod() das Zeichnen des Getriebes durch Linien, Polgone und Kreise. Nodes die später mit der Maus interaktiv bewegbar sein sollen, werden durch die Funktion hdl() gezeichnet. Weitere verwendete Symbole bzw. Funktionen sind im Quelltext durch Kommentare erläutert. Intern erstellt das g2-Objekt nun eine Befehlswarteschlange (Command-Queue) mit einem Zeiger (Pointer) zu den auszuführenden Funktionen. Erst durch Aufruf der Funktion exe(ctx) erfolgt das eigentliche Zeichnen des Getriebes.

Abschließend erfolgt die Definition der Interaktions- und Animationsfunktionen mithilfe des Interactor-Objektes. Dieses ermöglicht es, sobald bestimmte Ereignisse, sogenannte Pointer‑Events auftreten eine grafische Änderung eines oder mehrerer canvas‑Elemente durchzuführen. Im Codeblock on('tick', (e)=>{...}) wird zunächst eine Funktion definiert, die bis zu 60x pro Millisekunde ausgeführt wird. Im Anschluss wird durch die Funktionen on('drag', (e)=>{...}) das interaktive Verschieben der durch die hdl()-Funktion gezeichneten Nodes ermöglicht und abschließend durch Aufruf der Funktion startAnimation() die Animation gestartet. Genauere Erklärungen zur Funktionsweise der beiden Bibliotheken können den Dokumentationen entnommen werden [2],[3].

Abb. 3: Zeichnen des Getriebes und Definition der Interaktions- und Animationsfunktionen

        //Zeichnen des Getriebe

        const g = g2().clr()

            .view(interactor.view)

            .lin({ p1: A0, p2: A, lw: 2 }) //Linie

            .lin({ p1: B0, p2: B, lw: 2 })

            .ply({ pts: [A, B, K], lw: 2, ls: 'darkslategray', closed: true }) //Polygon

            .gnd(A0) //Symbol für gestellfesten Node

            .gnd(B0)

            .hdl(A) //"Handle" - Symbol

            .nod(B)

            .nod(K) //"Node" Symbol

        g.exe(ctx);

        //Definition der Interaktions- und Animationsmethoden

        interactor

            .on('tick', (e) => {

                const itr = c.correct();

                g.exe(selector).exe(ctx);

            })

            .on('pan', (e) => { interactor.view.x += e.dx; interactor.view.y += e.dy; })

            .on('drag', (e) => {

                if (selector.selection && selector.selection.drag) {

                    selector.selection.drag({ x: e.xusr, y: e.yusr, dx: e.dxusr, dy: e.dyusr, mode: 'drag' });

                }

            })

            .startTimer();

    </script>

</body>

</html>

Das Ergebnis des beschriebenen Beispiels ist die in Abb. 4 a) dargestellte Kurbelschwinge. Wird eine andere bzw. zusätzliche Gestaltung der Zeichenfläche gewünscht, können weitere Funktionen der *g2*-Bibliothek genutzt und/ oder eigene Symbole erstellt werden. Hierfür sei auf die ausführliche Dokumentation verwiesen [2].

Gegenüber anderen Programmen zur Mechanismensimulation, die auf der Zeichenfolge-Rechenmethode basieren, wie Geogebra, begnügt sich das Vorgehen mit einer sehr geringen Dateigröße und ist äußerst perfomant. Zum Vergleich: Zur reinen Modellierung der gleichen Kurbelschwinge in Geogebra ist ein zusätzliches Programm und ebenfalls 10 Befehle notwendig, während die eigentliche Definition einer Kurbelschwinge mit dem impulsbasierten Verfahren nur 10 Befehle und kein zusätzliches Programm bedarf. Des Weiteren besitzt die HTML‑Datei der definierten Kurbelschwinge mit 3kB eine deutlich geringere Dateigröße gegenüber der Geogebra-Datei mit 15kB und kann direkt auf Webseiten eingebunden werden.

# Beispiele

Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich alle einschleifigen Koppelgetriebe (Abb. 4) problemlos und fehlerfrei simulieren. Des Weiteren ist die Animation deutlich komplexerer Getriebestrukturen, wie das der 14‑gliedrigen‑Tiefziehkurbelpresse (Abb. 7a) ebenfalls fehlerfrei möglich.

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |
| c) | d) |
| Abb. 4: Kurbelschwinge, exzentrische Schubkurbel, Kurbelschleife, Kreuzschubkurbel | |

Der Stephenson II Mechanismus (Abb. 5a) ist bekanntlich analytisch nicht lösbar. Das beschriebene iterative Lösungsverfahren hingegen führt auch in solchen Fällen zuverlässig zu einer Lösung. Auch die Veranschaulichung wichtiger Lehrsätze aus dem Bereich der Mechanismentechnik ist möglich. Der Satz von Bobillier [5] ermöglicht die Ermittlung des Wendekreises und wurde als grafische interaktive Simulation mit dem Verfahren aufbereitet (Abb. 5b).

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |
| Abb. 5: Stephenson II Mechanismus; Satz von Bobillier | |

Wird das Interaktionsobjekt um einige Funktionen erweitert können die Bahnkurven einzelner Nodes gezeichnet und zusätzliche Informationen wie der Drehwinkel der Kurbel oder dem Winkel zwischen Koppel und Schwinge angezeigt werden. In Abb. 6a) wurde das Verfahren genutzt, um die zweiteilige Koppelkurve einer Kurbelschwinge zu veranschaulichen und in Abb. 6b) den Übertragungswinkel zwischen Koppel und Schwinge darzustellen.

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |
| Abb. 6: zweiteilige Koppelkurve, Übertragungswinkel | |

Werden zusätzliche Grafiksymbole benötigt, kann die g2‑Bibliothek um einige benutzerdefinierte Symbole und Befehle erweitert werden. Zur grafischen Gestaltung der Getriebe in Abb. 7 wurde die Bibliothek um einige zusätzliche mit den an der Professur Montage und Handhabungstechnik häufig verwendeten Getriebesymbolen erweitert. In Abb. 7a) ist der Mechanismus einer Tiefziehkurbelpresse und in Abb. 7b) ein Textilmaschinenmechanismus mit langer Rast dargestellt.

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |
| Abb. 7: 14‑gliedrige‑Tiefziehkurbelpresse, Textilmaschine | |

Alle hier vorgestellten Beispiele mit Quellcode können [4] entnommen werden.

# Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte impulsbasiert Verfahren zur Modellierung von Mechanismen mittels massebehafteter Nodes (Partikel) und vektorieller Constraints zwischen ihnen, beweist sich als möglicher Weg und bietet einige Vorteile gegenüber dem klassischen Weg. Die vorgestellten Beispiele beweisen die sehr einfache Verwendung der zwei entwickelten Javascript‑Bibliotheken, zur Simulation verschiedener Koppelmechanismen mithilfe des impulsbasierten Ansatzes. Gleichzeitig können die Simulationen direkt im Web‑Umfeld eingesetzt werden.

Aktuell ist die Entwicklung an beiden Bibliotheken noch nicht komplett abgeschlossen und die Vervollständigung der Anwenderdokumentation ausstehend. Insgesamt beweisen die erstellten Beispiele eindrucksvoll die sehr einfache Anwendung und machen zuversichtlich, zukünftig Constrainttypen, wie Seil- und Kurvenbindung implementieren zu können. Des Weiteren sollen weitere Animationen, wie der Drahzahlplan nach Kutzbach oder der Satz von Roberts für die Verwendung in der Lehre erstellt werden.

Literatur

1. Gössner, S., " Ebene Mechanismenmodelle als Partikelsysteme – ein neuer Ansatz ", 13. Kolloquium Getriebetechnik, Dortmund, September 2019.
2. Gössner, S., "g2", URL: <http://goessner.github.io/g2/>.
3. Gössner, S., "Make your HTML canvas Interactive", URL: https://goessner.github.io/canvasInteractor/.
4. Schnabel, P., “Beispiele Getriebetagung 2022”, URL: <https://github.com/Pasquale19/Beispiele_GT2022>.
5. Gössner, S. Mechanismentechnik. Vektorielle Analyse ebener Mechanismen. Logos Verlag Berlin, 2017, ISBN 978-3-8325-4362-4.